

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA / ENGENHARIA ELÉTRICA
Trabalho Final de Curso II

JOÃO PEDRO COUTINHO DE LIMA
PABLO EDUARDO PIRES

ATUALIZAÇÃO DO BANCO DE BATERIAS DE TOTEN
FOTOVOLTAICO EXISTENTE

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para
obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica
apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros.
Prof. Me. Luis Fernando Pagotti.
Prof. Dr. Marcos Antônio de Sousa.

Goiânia, 01 de dezembro de 2021.

Atualização do Banco de Baterias de Toten Fotovoltaico Existente

Lima J. P. C., Pires P. E., Medeiros A. M. M., Sousa M.A., Pagotti L. F., Escola Politécnica, PUC-Go.

Resumo — Este trabalho propõe o dimensionamento de um banco de baterias de íon de lítio para o uso em um sistema fotovoltaico autônomo. Para isso, estuda-se os tipos de células de bateria de lítio e o seu funcionamento, com ênfase nas células de íon de lítio. Além disso, também é feita uma análise sobre as especificações mais importantes e os fatores que afetam o desempenho das células, de modo a obter o conhecimento necessário para dimensionar o sistema. A partir de um Sistema Fotovoltaico já existente, alimentando um protótipo de uma mesa de estudos com tomada para carregamento de dispositivos móveis, dimensiona-se o banco de baterias. Esse dimensionamento consiste em calcular a tensão, corrente, potência e capacidade do pack de baterias, além do controlador de carga.

Palavras-Chave — Banco de baterias. Bateria de íon de lítio. Células de baterias de lítio. Sistema fotovoltaico autônomo.

Abstract — This work proposes the dimensioning of a lithium ion battery bank for use in an autonomous photovoltaic system. For this, the types of lithium battery cells and their functioning are studied, with emphasis on lithium ion cells. In addition, an analysis of the most important specifications and factors that affect the performance of the cells is also carried out, in order to obtain the necessary knowledge to scale the system. From an already existing Photovoltaic System, feeding a prototype of a study table with a socket for charging mobile devices, the battery bank is dimensioned. This dimensioning consists of calculating the voltage, current, power and capacity of the battery packs, in addition to the charge controller.

Keywords — Battery bank. Lithium ion battery. Lithium battery cells. Stand-alone photovoltaic system.

I. INTRODUÇÃO

Fontes renováveis de energia é um assunto que está em pauta em todo o mundo neste momento, visto que este tipo de geração reduz a concentração de gases e, com isso, ajuda a preservar os recursos naturais, sem prejudicar o meio onde são geradas.

Uma dessas fontes é a energia solar, que nos últimos anos teve um grande crescimento. Em 2019, o mercado de energia solar no Brasil cresceu mais de 212%, alcançando a marca de 2,4 GW instalados [1].

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos: *On Grid* e *Off Grid*. Onde aquele é conectado à rede elétrica da concessionária de energia e este independe dessa rede.

Sistemas *Off-Grid* são basicamente sistemas que não dependem da rede convencional para estar em funcionamento, geralmente utilizados em situações na qual o usuário está localizado onde a rede de distribuição elétrica

não chega. Devido a essa característica de ser algo básico e de fácil domínio, o projeto em si, visa aumentar o interesse

pelo conhecimento, englobando assim diversos fatores, onde ele seria de grande vantagem como por exemplo a preocupação ambiental, crescimento econômico e desenvolvimento tecnológico. Para realizar o funcionamento completo deste sistema, é necessário um arranjo fotovoltaico, um banco de baterias, um controlador de carga e um inversor solar autônomo. A figura a seguir mostra o funcionamento de um sistema de energia fotovoltaica *Off-Grid* – Figura 01.



Figura 01. Diagrama elétrico fotovoltaico de um sistema Off-Grid [2].
Fonte: Neo Solar.

Uma bateria é um dispositivo que converte a energia química contida em seus materiais ativos, diretamente em energia elétrica, por meio de uma reação eletroquímica de oxidação e redução [3]. A finalidade da reação química da bateria é a transferência de elétrons, com os materiais que perdem elétrons (oxidação) e os materiais que ganham elétrons (redução). Com todo esse processo, é gerada a corrente elétrica.

Até pouco tempo, a bateria de chumbo-ácido era a mais utilizada para o armazenamento de energia solar fotovoltaica, visto que era a mais acessível em termos de tecnologia e custo-benefício, se comparados à outras baterias. Porém, segundo a *Bloomberg New Energy Finance*, o preço de baterias de íons de lítio diminuiu mais de 75% entre 2010 e 2018, sendo a segunda tecnologia que mais se barateou no setor elétrico mundial [4], resultando assim em sua ascensão no mercado de baterias.

Para o armazenamento de carga em um sistema *Off-Grid*, é recomendado um banco de baterias de lítio, pois as baterias de íons de lítio oferecem numerosas vantagens: têm uma maior densidade energética, maior eficiência e um ciclo de vida mais longo, se comparadas com as baterias de chumbo ácido. Além disso, necessitam de muito menos manutenção do que baterias de chumbo ácido [5].

O lítio é o mais leve de todos os metais, tem o maior potencial eletroquímico e fornece a maior energia específica por peso. As baterias de lítio estão alimentando uma ampla gama de dispositivos elétricos e eletrônicos, incluindo computadores portáteis, telefones celulares, ferramentas elétricas, sistemas de telecomunicações e novas gerações de carros elétricos e veículos [3].

Apesar de todas as vantagens mencionadas, por ser uma tecnologia nova, alguns desafios são encontrados, como é o caso do alto custo e o perigo de inflamabilidade.

Este trabalho visa propagar e esclarecer de forma didática o conhecimento através das baterias de íons de lítio, afim de evidenciar seus conceitos e viabilidade de uso. Além de realizar a substituição de uma bateria de chumbo-ácido de uma bancada fotovoltaica existente, por um banco de baterias de lítio propriamente dimensionado a fim de melhorar o armazenamento e o funcionamento do sistema.

A bancada em questão inicialmente foi projetada para a alimentação de quatro celulares de 10W de potência cada, sendo utilizado por cinco horas durante o período noturno. Realizaremos algumas melhorias no sistema para que o mesmo fique mais usual e mais pessoas poderão utilizá-lo.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apesar do termo “bateria” ser sempre utilizado, a unidade básica eletroquímica é a “célula”. A bateria é a junção de várias células em série ou paralelo.

O item A na sequência introduz componentes básicos cuja compreensão é relevante para o entendimento do funcionamento de uma célula de lítio.

A. Componentes Básicos da Célula de Lítio

Ânodo: eletrodo negativo, no qual fornece elétrons (sofrendo oxidação) e é o agente redutor.

Cátodo: eletrodo positivo, no qual recebe os elétrons (sofrendo redução) e é o agente oxidante.

Eletrolito: é o condutor iônico, agindo como o meio de transporte de carga entre o ânodo e o cátodo. Geralmente, é líquido, um composto orgânico que contém sais minerais para transferir íons de lítio.

Separador: encarregado de separar o Ânodo e o Cátodo sem impedir a passagem dos íons de lítio.

Os componentes podem ser observados na Figura 02:

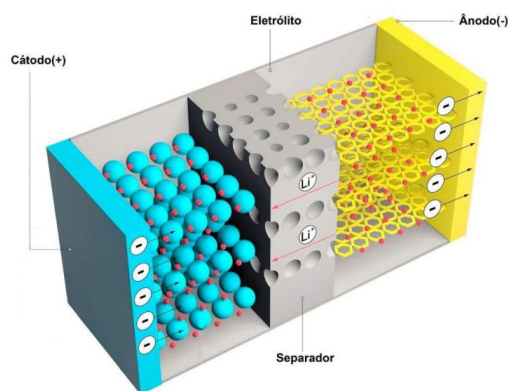


Figura 02. Componentes básicos de uma célula.
Fonte: Baterias de Lítio [3].

O item B apresenta detalhes do processo de carga e descarga de uma célula eletroquímica.

B. Funcionamento da Célula Eletroquímica

Descarga: No processo de descarga, onde a célula está conectada a uma carga elétrica, os elétrons fluem do ânodo, que é oxidado, para o cátodo, através da carga externa, onde os elétrons são aceitos e ocorre a redução do cátodo.

Recarga: Durante a recarga, ocorre o processo inverso da descarga, sendo assim, o fluxo da corrente é invertido e a oxidação ocorre no cátodo e a redução no ânodo.

C. Principais Características Elétricas das Baterias

Corrente Elétrica: é o fluxo de carga elétrica dentro de um condutor, devido a uma diferença de potencial entre as extremidades do mesmo. A unidade de medida da corrente elétrica é o Ampère (A).

Tensão Elétrica: é a diferença de potencial entre dois pontos, ou seja, é a ação externa que coloca as cargas elétricas em movimento. A unidade de medida da tensão elétrica é o Volt (V).

Capacidade: é a quantidade de corrente elétrica que a bateria consegue fornecer em um determinado período de tempo, ou seja, quanto maior sua capacidade, maior armazenamento de carga a bateria possui. A unidade de medida da capacidade é o Ampère-hora (Ah).

Potência Elétrica: A potência de uma carga em um circuito de bateria depende da tensão e da corrente. A unidade de medida da potência elétrica é o Watt (W).

Energia: é a quantidade de energia elétrica consumida ou fornecida por um circuito elétrico em um determinado período. A unidade de medida da energia consumida é o Watt-hora (Wh).

III. DESENVOLVIMENTO

Por se tratar de um sistema fotovoltaico desconectado da rede de energia convencional, é ideal para o uso em situações na qual o usuário está afastado de redes de energia.

Para a aplicação ideal do projeto em questão foi utilizado ferramentas como o Excel para o dimensionamento dos itens necessários para a geração e aplicação dessa energia renovável.

O sistema autônomo inicialmente foi dimensionado para a alimentação de apenas quatro celulares de 10 W de potência cada. Será realizado uma atualização nessa bancada, adicionando uma entrada para alimentação de um notebook de até 40 W e de uma lâmpada de 6 W de potência, mostrado no quadro de cargas da Figura 03. Isso tornará o sistema mais usual, em caso de falta de energia no ambiente, será possível acender a iluminação na bancada e carregar os aparelhos eletrônicos. A tabela I mostra o dimensionamento.

Tabela I. Quadro de Cargas. Fonte: Autores

Quadro de cargas					
Descrição	Quant.	Pot. (W)	Pot. total (W)	Tempo (h)	Consumo (Wh)
Celular	4	10	40	5	200
Notebook	1	40	40	5	200
Lâmpada	1	6	6	5	30
Total	6	-	86	5	430

A bancada em questão não estava apropriada para o uso, para ela entrar em funcionamento, foram necessárias algumas correções nas conexões do sistema, além de instalações de

novos disjuntores e ajustes no dimensionamento do mesmo, incluindo o banco de baterias, haja visto que foi adicionado mais carga ao projeto.

Para a realização do novo dimensionamento, foi dividido em duas partes, primeiro os cálculos do módulo fotovoltaico, para ver se o sistema suportará as novas cargas adicionadas e posteriormente o banco de baterias necessário para manter energia suficiente armazenada para o uso.

A. Dimensionamento do sistema fotovoltaico off-grid com a bateria de lítio

O consumo de energia em Watt hora é dado pela Equação (1). A energia consumida do sistema trabalhando em um período de 5 horas, contabiliza uma energia consumida de 430 (Wh), conforme resultado da Equação. Conforme detalhamento no quadro de carga da Figura 03.

$$Ec = P * T \quad (1)$$

Ec = É a energia consumida, em watt-hora (Wh)

P = É a potência nominal dos equipamentos, em watts (W)

T = É o tempo de uso, em horas diárias (horas)

$$Ec = 86 * 5$$

$$Ec = 430 \text{ (Wh)}$$

A Equação (2) a seguir é utilizada para calcular a energia produzida por cada módulo. A irradiação solar foi tirada do Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, sendo considerado o mês de dezembro por possuir a menor média do ano (4981 Wh/m²*dia) [6]. O resultado obtido permite calcular a quantidade de módulos necessários para a alimentação do sistema. As informações do módulo e os cálculos detalhados podem ser encontrados no (Apêndice A). O fator Pr é a perda considerável de todos os sistemas fotovoltaicos, considerada 80%.

$$Ep = Es * Am * nm * Pr \quad (2)$$

Ep = É a energia produzida pelo módulo diariamente (Wh).

Es = É a insolação diária (Wh/m²*dia).

Am = É a área da superfície do módulo (m²).

nm = É a eficiência do módulo.

Pr = É a eficiência típica de um sistema fotovoltaico.

$$Ep = 4981 * 1,0064 * 0,1515 * 0,8$$

$$Ep = 607,6 \text{ (Wh)}$$

Para dimensionar a quantidade de módulos, é necessário possuir a demanda total de energia, dada pela Equação (3).

$$ED = \frac{Ec}{nm * DoD} \quad (3)$$

ED = É a energia total da demanda, em watt-hora (Wh).

Ec = É a energia consumida, em watt-hora (Wh).

nm = É a eficiência do sistema de carga e descarga.

DoD = É a profundidade de descarga da bateria.

$$ED = \frac{430}{0,9 * 0,8}$$

$$ED = 597,22 \text{ (Wh)}$$

A quantidade de módulos necessários é dada pela Equação (4).

$$Nm = \frac{ED}{Ep} \quad (4)$$

Nm = É o número de módulos necessários.

ED = É a energia total demanda (Wh).

Ep = É a energia produzida pelo módulo diariamente (Wh).

$$Nm = \frac{597,22}{607,56}$$

$$Nm = 0,9829 \cong 1$$

O dimensionamento do controlador foi realizado através do dimensionamento do módulo e o conjunto da escolha do tipo de tensão de saída, que no caso é 12V, com a corrente de máxima utilização das cargas. Para o dimensionamento do inversor, é recomendado um fator de segurança de 30% de acordo com a potência total dos equipamentos, conforme Equação (5).

$$P_{inv} = \frac{P}{Fs} \quad (5)$$

P_{inv} = É a potência mínima necessária para o inversor (W).

P = É a potência nominal do equipamento, em watts (W).

Fs = É o fator de segurança (%).

$$P_{inv} = \frac{86}{0,7}$$

$$P_{inv} = 122,86 \text{ W}$$

B. Dimensionamento do banco de baterias

A potência do pack de baterias deve ser igual ou superior à potência requerida pela carga. Utilizando a energia consumida pela carga (Equação 1) e a tensão usual dos equipamentos 12 V, tem-se o dimensionamento do banco de baterias através da Equação (6).

$$Ec = V_{bb} * C_{bb} \quad (6)$$

Ec = É a energia consumida (Wh)

V_{bb} = É a tensão do banco de baterias (V)

C_{bb} = É a capacidade do banco de baterias (Ah)

$$C_{bb} = \frac{Ec}{V_{bb}}$$

$$C_{bb} = \frac{430}{12} \rightarrow C_{bb} = 35,83 \text{ Ah}$$

Utilizando células de íons de lítio para montar o banco de baterias, será necessário fazer um pack de baterias, ou seja, uma combinação de várias células para se obter tensão e capacidade adequadas para o projeto. Conexões em série aumentam a tensão e não afetam a capacidade, enquanto as

ligações em paralelo aumentam a capacidade, e não afetam a tensão.

Como as células de lítio tem uma tensão insuficiente, já que são de 4,2 V de tensão de pico, é necessário fazer uma ou mais ligações em série para elevar sua tensão.

Para calcular a tensão em uma ligação em série será considerada a tensão nominal da célula 3,7 V, que é dada pela Equação (7).

$$V_{bs} = V_c * N_s \quad (7)$$

V_{bs} = É a tensão das baterias ligadas em série.

V_c = É a tensão de uma célula.

N_s = É o número de células em série.

$$N_s = \frac{V_{bs}}{V_c}$$

$$N_s = \frac{12}{3,7}$$

$$N_s = 3,24 \cong 3 \text{ células}$$

Portanto, com as 3 células em série, utilizando a Equação (7), é possível calcular a tensão do pack de baterias, dado pela Equação (8).

$$V_{bs} = V_c * N_s$$

$$V_{bs} = 3,7 * 3$$

$$V_{bs} = 11,1 \text{ V} \quad (8)$$

Como as células de lítio escolhidas tem apenas 9,8 Ah, eleva-se a capacidade, para isso será preciso fazer uma conexão em paralelo. Na ligação em paralelo, a capacidade do conjunto é igual à soma das capacidades de cada célula.

Para o cálculo da capacidade em paralelo será considerado 80% da capacidade total da célula, já que a cada ciclo de recarga a mesma se desgasta. O cálculo é dado pela Equação (9).

$$C_{bp} = C_c * N_p \quad (9)$$

C_{bp} = É a capacidade das baterias ligadas em paralelo.

C_c = É a capacidade de uma célula.

N_p = É o número de células em paralelo.

Ca = Fator de ajuste da capacidade da célula (80%)

$$N_p = \frac{C_{bp}}{(C_c * Ca)}$$

$$N_p = \frac{35,83}{9,8 * 0,8}$$

$$N_p = 4,57 \cong 5 \text{ células}$$

Para uma maior capacidade de armazenamento, o projeto foi feito com 5 células em paralelo. Utilizando a Equação (9), é possível calcular a capacidade do pack de baterias, dado pela Equação (10).

$$C_{bp} = C_c * N_p$$

$$C_{bp} = (9,8 * 0,8) * 5$$

$$C_{bp} = 39,2 \text{ Ah} \quad (10)$$

Portanto, o banco de baterias terá 3 células em série e 5 células em paralelo (3s5p), com um total de 15 células. Utilizando a Equação (6), é possível calcular a energia total a ser armazenada pelo banco de baterias, dado pela Equação (11).

$$E_{bb} = V_{bs} * C_{bp}$$

$$E_{bb} = 11,1 * 39,2$$

$$E_{bb} = 435,12 \text{ Wh} \quad (11)$$

E_{bb} = É a energia total do banco de baterias.

V_{bs} = É a tensão das baterias ligadas em série.

C_{bp} = É a capacidade das baterias ligadas em paralelo.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utilizou um módulo fotovoltaico de 150 W, um inversor de frequência 12/220V, um controlador de carga e um pack de baterias de lítio conectadas em série e paralelo, totalizando 39,2 Ah de capacidade, com estrutura feita de alumínio.

Esses componentes foram dimensionados para um total de 4 tomadas. O projeto da estrutura foi calculado para que ela suportasse pequenos abalos mecânicos, além de ter sido realizado o cálculo de centro de massa, a fim de evitar possíveis acidentes com o usuário. Sendo feita de alumínio para redução do peso, compensados de madeira e instalado canaletas, eletrodutos rígidos de PVC e caixas de passagem para servir de proteção contrachoque elétrico, chuva e pequenos abalos mecânicos, de acordo com a Figura 03.

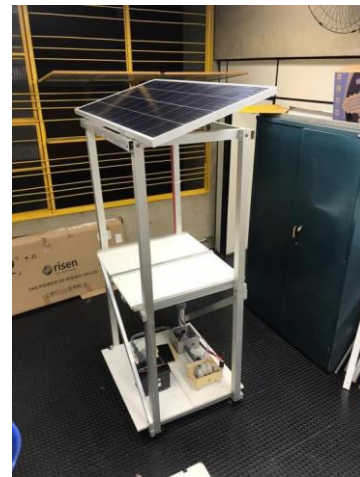


Figura 03 - Estrutura montada [12].

A. Módulo Fotovoltaico

Foi utilizado um módulo fotovoltaico de 150W, como demonstrando na Figura 04, da RISEN. Utilizado principalmente em microgeração de energia em sistemas conectados à rede residencial e comercial para redução de consumo de energia elétrica, sistemas isolados da rede convencional para carregamento de banco de bateria a fim de

atender locais remotos, sem acesso a eletricidade ou reduzir o consumo de energia elétrica no abastecimento de sítios ou residências [7].

Especificações Técnicas:

- Potência máxima (P_{max}): 150W
- Número de células: 36
- Tensão de máxima potência (V_m): 18,3V
- Corrente da máxima potência (I_m): 8,20A
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): 22,3V
- Corrente do curto-circuito (I_{sc}): 8,81A
- Tipo de células: Silício Policristalino
- Eficiência do módulo: 15,15%
- Tolerância de potência: $\pm 3\%$
- Dimensões (mm): 1480x680x35
- Peso (kg): 11.0

O módulo escolhido possui células de silício policristalino (p-Si), sendo fabricado a partir de diversos cristais gerando estruturas com alta quantidade de grãos. O policristalino possui um custo e qualidade inferior ao monocristalino, que é fabricado a partir de um único cristal e mergulhados em silício fundido, nesse processo o cristal recebe pequenas quantidades de boro, criando assim um condutor do tipo “p”, e vapor de fósforo, criando um condutor do tipo “n”, determinando assim sua procedência [7].



Figura 04 – Módulo fotovoltaico.

B. Controlador de Carga

O controlador de carga que melhor se adequou a necessidade do projeto foi o Sun 21, 12/24 MPPT, modelo CCS-P2024, conforme Figura 05. Alguns modelos mais modernos deste equipamento apresentam comunicação para a aquisição de dados para estudo [8].

O controlador deve ser ligado entre o painel solar e as baterias, agindo então como um gerenciador de carga e descarga do banco de baterias.



Figura 05. Controlador de carga.

C. Inversor de Frequência

Inversor *off-grid* de 350W, sendo entrada 12V e saída 220V, da marca Huajian que também protege a bateria e aumenta a sua vida útil. O inversor utilizado será o mostrado conforme a Figura 06. O uso mais comum desse equipamento é em lâmpadas LED, ventiladores, televisores, videogames e outros [9].

O inversor é o equipamento responsável por converter a corrente contínua (CC), que vem dos módulos fotovoltaicos e, posteriormente do banco de baterias, em corrente alternada (CA), transformando-a assim, pronta para o uso cotidiano.



Figura 06 – Inversor de frequência.

D. Banco de Baterias

Monta-se um pack de baterias de lítio com cada célula tendo 3,7 V de tensão nominal e 7,84 Ah de capacidade aproveitável. O sistema contará com: 5 paralelos de 3 células em série cada paralelo, totalizando 15 células (3s5p) com tensão de 11,1 V e capacidade 39,2 Ah, mostrado na Figura 07. Sendo o banco de baterias suficiente para suprir com a energia demandada de 430 Wh, totalizando 435,12 Wh.

Para realizar a junção das células foi utilizado a soldagem por pontos e fio de cobre de 6 mm² nas conexões, sendo todo o fio vedado com camadas de fita isolante, para proteger os terminais de um curto-circuito acidental, como mostra a Figura 07.

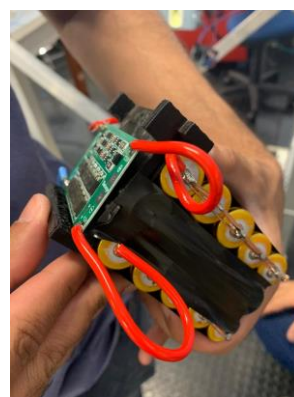


Figura 07 – Foto do pack de baterias e placa BMS. Fonte: Autores

E. Placa de Proteção BMS

É um sistema de gerenciamento de bateria (BMS – *Battery Management System*), ideal para manter o funcionamento das baterias com segurança. Ela permite que a tensão do módulo chegue às células de maneira adequada [10].

O BMS escolhido foi o de 3s 60 A, por conta de o banco de baterias ser de 3 células em série e a corrente de 49 A, mostrado na Figura 08.

Especificações Técnicas:

- Placa de Proteção BMS 3S 60A Bateria Lipo Li-ion balanceada
- Modelo: 3S 60A Versão Balanceada
- Marca: OEM
- 60A 3 S 12.6 V placa de proteção da bateria de lítio
- Tensão de carga: 7,4V
- Temperatura de funcionamento: -40 ~ 50 graus
- Resistência interna: menos de 45 m Ω
- Tensão de carregamento: 12.6 V ~ 13.6 V
- Contínua corrente de carga (limite superior): 15A
- Composição: Placa de Fenolite, Componentes Eletrônicos
- Origem: China
- Tamanho: 63mm Largura x 41mm de Comprimento x 4,5mm de Altura
- Peso: 10,65g

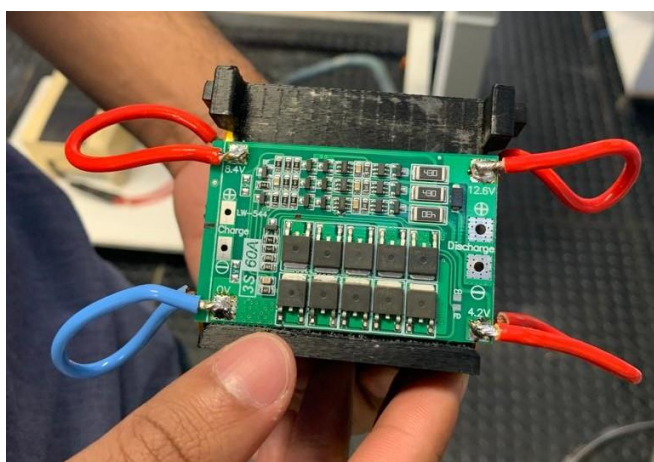


Figura 08 – Placa de proteção BMS [3].

F. Esquema de ligação do banco de baterias

A placa BMS 3S 60A tem as características de ligação observadas anteriormente, na Figura 09, possuindo 4 terminais de ligação para as diferentes tensões das séries, indo de 0V a 12,6V, variando de 4,2 V por terminal, como mostrado abaixo, na Figura 10.

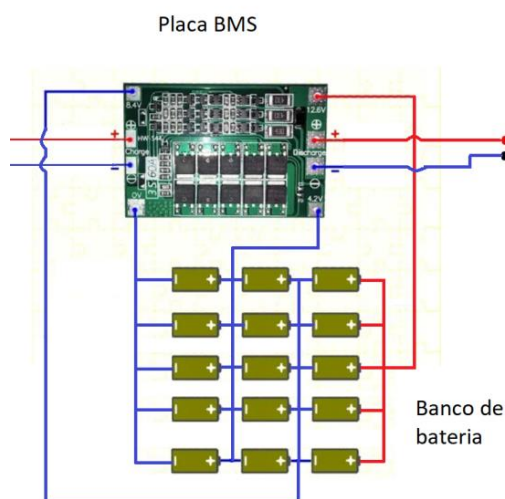


Figura 09 – Ligação do Pack de Baterias à placa BMS.
Fonte: Autores.

A placa BMS é conectada após o controlador de carga, para servir como proteções contracorrente de carga e descarga excessivas, inversão de polaridade, temperaturas excessivas e prolongar a vida útil da bateria, já que ela garante que as células permaneçam dentro dos limites operacionais seguros, ou seja, balancear a tensão da célula entre 3,0 V e 4,2 V aumentando a quantidade de ciclos de carga e descarga.

G. Esquema de ligação do sistema do sistema off-grid

O sistema tem como fonte de energia os módulos fotovoltaicos, que convertem a irradiação solar em corrente contínua, chegando até o controlador de carga, onde esse é responsável por preservar a vida útil da bateria, além disso determina quando a bateria está carregada ou descarregada, a tensão de operação, temperatura e informa se estiver algum erro no sistema. A corrente entra pelo terminal carga da placa BMS, onde ela protege as células e realiza o balanceamento, após o banco de baterias estar carregado, a corrente contínua sai pelo terminal descarga da placa e chega até o inversor off-grid, convertendo a corrente contínua em corrente alternada, podendo assim utilizar os equipamentos cotidianos. A figura 10 exemplifica o esquema de ligação.

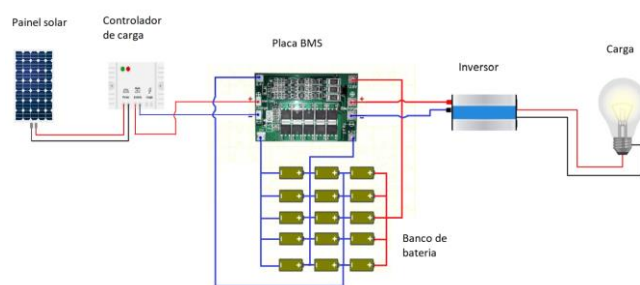


Figura 10 – Esquema de ligação do sistema.
Fonte: Autores.

V. RESULTADOS

Após realizar todas as alterações necessárias no totén fotovoltaico, adicionar disjuntores para proteção do sistema e montar o banco de baterias, o sistema entrou em funcionamento. Assim, podendo-se obter os dados necessários para o seu monitoramento. Na Figura 11, mostra-se o menu de navegação do controlador de carga com as informações que aparecem em seu display.

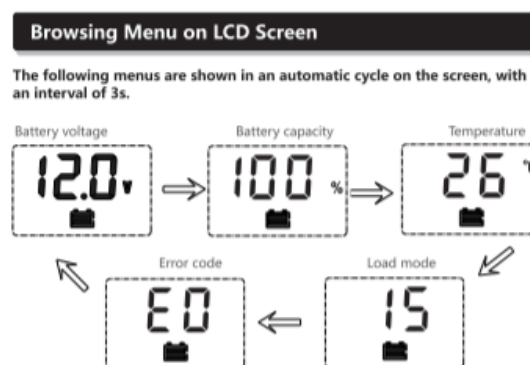


Figura 11 – Menu do controlador de carga.
Fonte: Manual do Controlador de Carga [11].

Com o sistema em funcionamento e carregando, foi possível coletar algumas informações pelo menu do display do controlador de carga, mostrado na Figura 12.

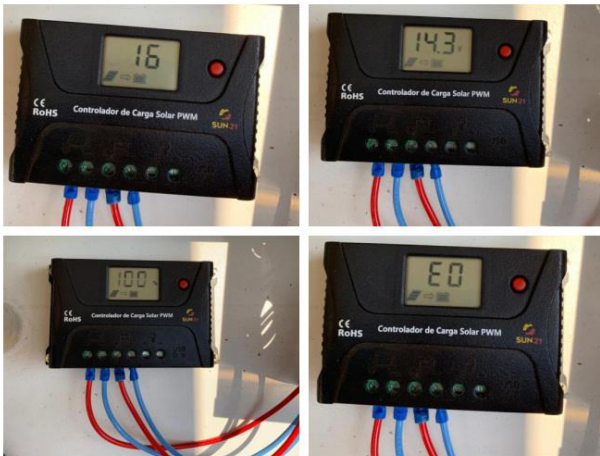


Figura 12 – Controlador de carga em funcionamento.

No primeiro quadro, mostra-se o modo de carregamento, onde este utiliza um PWM (Modulação por Largura de Pulso) para preservar a vida útil da bateria. Essa função é dividida em cinco modos, onde cada número no display representa um modo. 00 é puro controle de luz, 01-14 é controle de luz e tempo (de 1 a 14 horas), 15 é o modo manual (padrão), 16 modo de depuração e o 17 é o modo normal, conforme mostrado na Figura 13.

LED Display	Mode
00	Pure light control mode
01-14	Light control + time control (1 to 14 hours)
15	Manual mode (default)
16	Debugging mode
17	Normal on mode

Figura 13 – Os cinco modos de carregamento do controlador de carga.
Fonte: Manual do Controlador de Carga [11].

No segundo quadro da Figura 12, apresenta a tensão do banco de baterias naquele instante. No terceiro quadro, mostra-se a porcentagem de carga da bateria.

No último, mostra-se o código de erro. Foi apresentado o erro E0, que segundo seu manual do fabricante é o código para um sistema sem erros. Já o E1 é o erro para temperatura elevada, o E2 para bateria descarregada, E4 sobrecarga e o E5 curto-circuito, como pode ser visto nos códigos de erro em seu manual, conforme a Figura 14.

Code on LCD screen	Corresponding error
E0	No error
E1	Over-temperature
E2	Battery over discharge
E4	Overload
E5	Load short circuit

Figura 14 – Códigos de erro do Controlador de Carga.
Fonte: Manual do Controlador de Carga [11].

Ao realizar os testes, as cargas utilizadas no totên fotovoltaico foram duas lâmpadas de 40W e uma lâmpada de 60W, totalizando 140W. Foi conectado uma carga de cada vez e medida a referida corrente e tensão da conexão.

No primeiro teste foi conectado uma carga de 60 W, obtendo os valores de 0,292 A e 222,1 V, conforme mostra a Figura 15. Totalizando aproximadamente 64,85 VA.



Figura 15 – Amperímetro e Voltímetro, respectivamente, medindo corrente e tensão das cargas.
Fonte: Autores

No segundo teste foram conectadas duas cargas, uma de 60W e uma de 40W, tendo com valores de corrente e tensão, respectivamente, 0,464 A e 210,5 V, conforme mostra a Figura 16. Totalizando aproximadamente 97,67 VA.

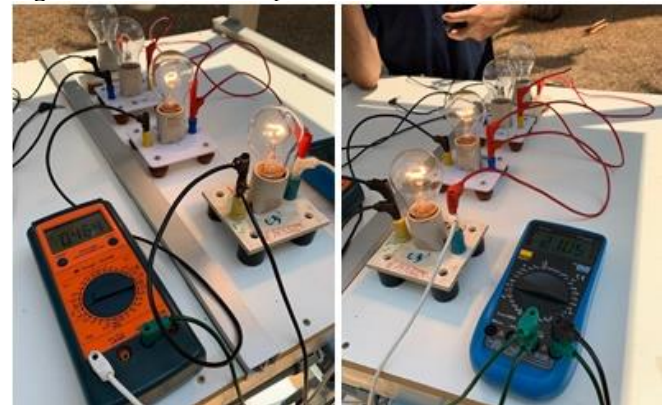


Figura 16 – Amperímetro e Voltímetro, respectivamente, medindo corrente e tensão das cargas. Fonte: Autores

No último teste foram conectadas três cargas, uma de 60W e duas de 40W, totalizando uma potência de cargas de 140 W. Os valores encontrados foram 0,708 A e 192,1 V, conforme mostra a Figura 17. Totalizando aproximadamente 136,01 VA.

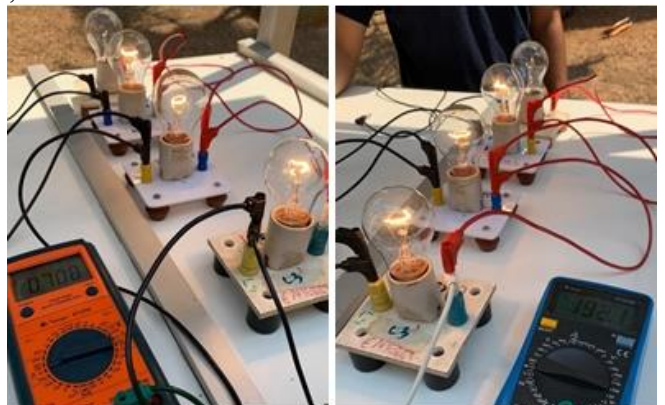


Figura 17 – Amperímetro e Voltímetro, respectivamente, medindo corrente e tensão das cargas. Fonte: Autores

Foi medida a tensão de saída CA em uma carga separada, a fim de verificar se a tensão de saída estava adequada para uso convencional. De acordo com os fornecimentos da ENEL GOIÁS, que vão até 240V. (Figura 18).

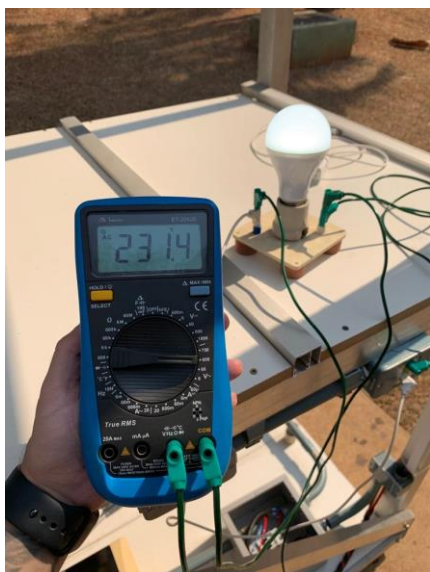


Figura 18 – Voltímetro mostrando medição da tensão de saída CA. Fonte: Autores

Por fim, após todas as montagens, foi adicionado um indicador de carga acima do banco de baterias (Figura 19), ligado na placa BMS. Ele funciona como um voltímetro, ligado no terminal 0V e no terminal 12,6V, medindo a tensão total e funcionando com 4 níveis de indicação de carga: do 0 ao 25%, do 25% ao 50%, do 50% ao 75% e do 75% ao 100% de carga.

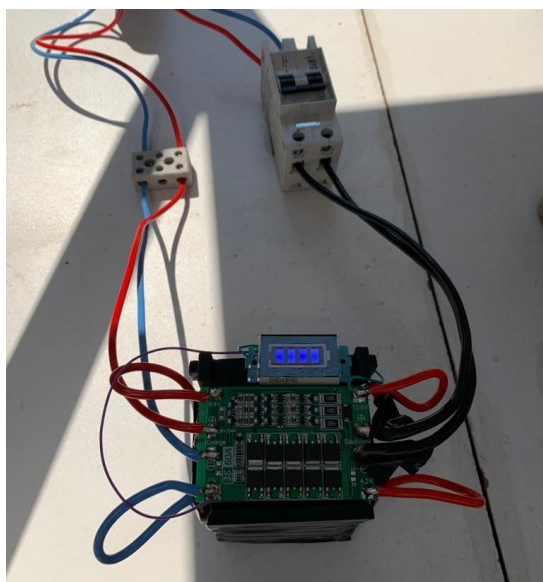


Figura 19 – Banco de Baterias e Proteções. Fonte: Autores

VI. CONCLUSÃO

A pesquisa apresentou uma base teórica a fim de obter dados e realizar cálculos para o dimensionamento de baterias de íons de lítio para sistemas fotovoltaicos off-grid. Assim como os sistemas fotovoltaicos, as baterias de íons de lítio estão cada vez mais populares e mais acessíveis aos

consumidores, facilitando assim a sua utilização em geral e, consequentemente, neste projeto.

Inicialmente, esse totén havia sido dimensionado para operar com as 4 cargas de 10 W, uma carga de 40 W e uma carga de 6 W, porém, uma das dificuldades encontradas na realização do trabalho, foi encontrar as cargas específicas e testar as mesmas no tempo necessário. Essa dificuldade é por se tratar de um trabalho de bancada, que necessita um tempo na Universidade para os testes.

As cargas utilizadas foram de maior potência que as iniciais, com menos tempo de testes, com objetivo de tentar equilibrar os fatores de consumo.

Após os períodos de pesquisas realizados para a elaboração deste trabalho, todos os objetivos propostos foram concluídos, que eram o estudo e dimensionamento de um banco de baterias de íons de lítio para um sistema fotovoltaico off-grid já existente. Porém, devido a essa falta de testes com as cargas iniciais, deve-se ter um certo cuidado com a bancada ao ser utilizada.

Para perspectivas futuras, existem várias possibilidades de pesquisas utilizando esse trabalho, como a expansão do banco de baterias, utilizando um novo dimensionamento ou até mesmo um monitoramento do sistema de baterias.

VII. AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos conceder saúde e tudo que necessitamos para a realização deste Trabalho Final de Curso. Também agradecemos à nossa família que sempre apoiaram e trabalharam para que nosso sonho seja realizado, a todos os amigos e namoradas que sempre nos deram forças e confiaram para nunca desistir, a todos os professores do curso de engenharia elétrica que passaram o conhecimento necessário para chegarmos até aqui.

Agradecemos também em especial ao nosso orientador Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros pelo tempo dedicado, apoio e confiança em realizar esse projeto.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Portal Solar, **Dados do Mercado de Energia Solar no Brasil**. São Paulo, SP, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html#:~:text=Em%202019%2C%20o%20mercado%20de,mil%20profissionais%20trabalhando%20na%20C3%A1rea.-> - Acessado: 13 de abril de 2021.
- [2] Yammoto A., **Como Funciona A Energia Solar Fotovoltaica**, Energy Plus Powered by Energy Plus, 06 de abril de 2021. Disponível em: <https://energyplusfotovoltaico.com.br/como-funciona-a-energia-solar-fotovoltaica/>
- [3] ALDO M., **Baterias de lítio**, S.T.A. Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. LTDA, 1ª ed, Cotia, SP, 2020.
- [4] NHS Solar, **Armazenamento da Energia Solar Fotovoltaica em baterias: a nova fronteira**, Curitiba – PR. Disponível em: <https://www.nhssolar.com.br/armazenamento-da-energia-solar-fotovoltaica-em-baterias-a-nova-fronteira/#:~:text=Segundo%20a%20Bloomberg%20New%20Energy,de%2083%25%20no%20mesmo%20per%C3%ADodo> – acessado em 25 de novembro de 2021.
- [5] Linde Material Handling, **Baterias de íons de lítio ou chumbo ácido? Diferenças e benefícios de ambas as tecnologias**. Disponível em: <https://www.linde-mh.pt/pt/Sobre-nos/Blog/bateria-de-ioes->

de-litio-para-empilhadores/-Acessado: 05 de dezembro de 2021.

- [6] PEREIRA, E.B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2 ed. São José dos Campos, 2017.
- [7] GUIMARÃES, A. P. C.; RIBEIRO, C. M.; BASTOS, L. E. G.; VALENTE, L. C. G.; SILVA, P. C. D. e OLIVEIRA, R. X. D. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPTEL – CRESEB, 2004.
- [8] MUHAMMAD H. Rashid, **Eletrônica de potência: Circuitos, dispositivos e aplicações**. 4ª, Pearson, Brasil, 2014.
- [9] AHMED, Ashfaq, **Eletrônica de Potência**. Tradução: Eduardo Vernes Mack. Revisão Técnica: João Antonio Martino. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- [10] Marques J. M. B., **Battery Management System (BMS) for Lithium-Ion Batteries**. Master Dissertation, Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Energy for Sustainability Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra, Coimbra, Portugal, September 2014
- [11] CCS Series Smart Solar Charge Controller. **User Manual** . SUN21, Disponível em:
<https://recursos.minhacasasolar.com.br/MediaCenter/SUN21%20CCS-P1024%20P2024%20manual_compressed.pdf> Acessado em: 25 de novembro de 2021.
- [12] Marciano O. B., Santos J. A. **Toten Fotovoltaico Off-Grid**, Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 15 de maio de 2019.

APÊNDICE A – PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO DO MÓDULO

ESPECIFICAÇÕES DO MÓDULO	
MODELO	RISEN RSM36-6-150P
POTÊNCIA (W)	150
COMPRIMENTO (m)	1,48
LARGURA (m)	0,68
ÁREA (m²)	1,0064
PESO (kg)	11
EFICIÊNCIA (%)	15,15

CÁLCULO DE ENERGIA PRODUZIDA DIARIAMENTE POR 1 MÓDULO
E_p = É a Energia Produzida Pelo Módulo Diariamente (Wh)
E_s = É a insolação diária (Wh/m²*dia).
A_m = É a área da superfície do módulo (m²).
η_m = É a eficiência do módulo.
Pr = É a eficiência típica de um sistema fotovoltaico.

CÁLCULO DA ENERGIA PRODUZIDA (Wh)
$E_p = E_s * A_m * \eta_m * Pr$
$E_p = 4981 * 1,0064 * 0,1515 * 0,8$
$E_p = 607,6 \text{ (Wh)}$

* Insolação diária E_s considerada 4981 por ser a menor incidência solar no ano, correspondendo ao mês de Dezembro.

DEMANDA
ED = Energia Total - Demanda (Wh)
E_c = Energia Consumida (Wh)
η_m - Eficiência do Sistema de Carga e Descarga
DoD = Profundidade de Carga

CÁLCULO DA ENERGIA - DEMANDA (Wh)
$ED = E_c / (\eta_m * DoD)$
$ED = 430 / (0,9 * 0,8)$
$ED = 597,222$

QUANTIDADE DE MÓDULOS A SER UTILIZADOS
N_m = Número de Módulos
ED = Energia Total - Demanda (Wh)
E_p = É a Energia Produzida Pelo Módulo Diariamente (Wh)

$N_m = ED / E_p$
$N_m = 597,222 / 607,561$
$N_m = 0,983$
Logo, $N_m = 1$ módulo.

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Pablo Eduardo Pires
do Curso de Engenharia Elétrica, matrícula 2017.1.0038.0038-0,
telefone: (62) 99923-7642 e-mail pabloeduardo.com@gmail.com, na qualidade de titular dos
direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor),
autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o
Trabalho de Conclusão de Curso intitulado
ATUALIZAÇÃO DO BANCO DE BATERIAS DE TOTEN FOTOVOLTAICO EXISTENTE
_____, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5
(cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial
de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som
(WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da
área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da
produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 01 de DEZEMBRO de 2021.

Assinatura do(s) autor(es): Pablo Eduardo Pires

Nome completo do autor: Pablo Eduardo Pires

Assinatura do professor-orientador: Antônio Marcos de Melo Medeiros

Nome completo do professor-orientador: Antônio Marcos de Melo Medeiros

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante **João Pedro Coutinho de Lima**
do Curso de **Engenharia Elétrica**, matrícula **2017.1.0038.0025-8**,
telefone: **(62) 99621-8722** e-mail **jpcoutinho20@gmail.com**, na qualidade de titular dos
direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor),
autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o
Trabalho de Conclusão de Curso intitulado
ATUALIZAÇÃO DO BANCO DE BATERIAS DE TOTEN FOTOVOLTAICO EXISTENTE
_____, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5
(cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial
de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som
(WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da
área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da
produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 01 de DEZEMBRO de 2021.

Assinatura do(s) autor(es): João Pedro Coutinho de Lima

Nome completo do autor: João Pedro Coutinho de Lima

Assinatura do professor-orientador: Antônio Marcos de Melo Medeiros

Nome completo do professor-orientador: Antônio Marcos de Melo Medeiros